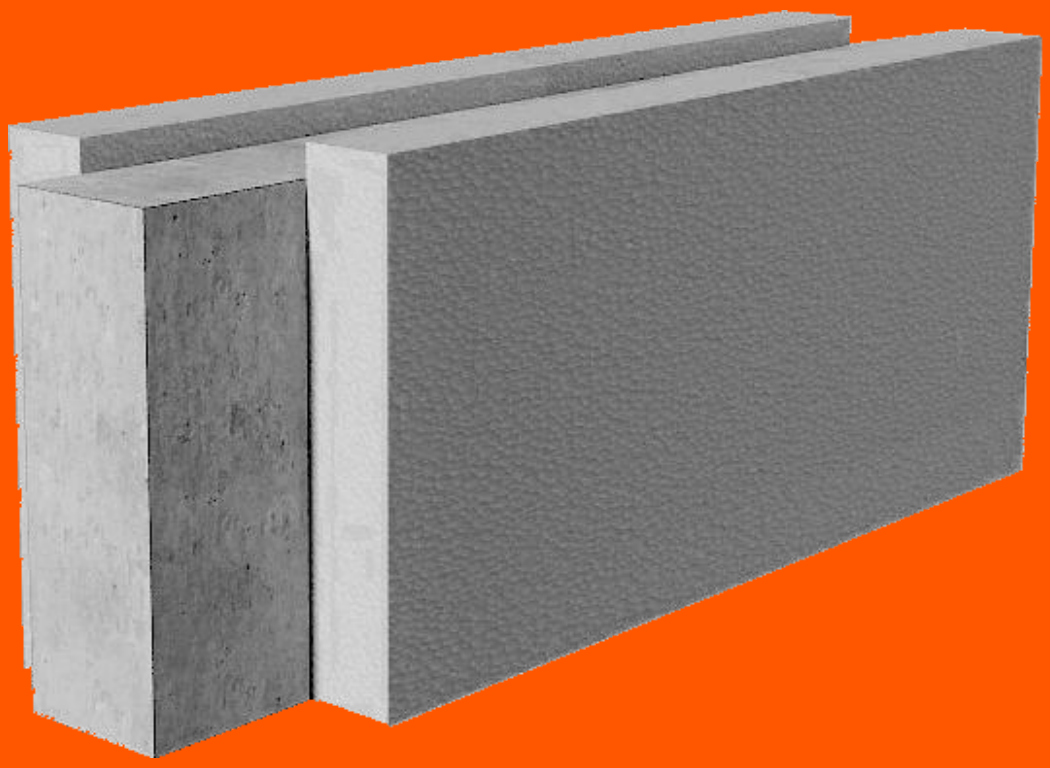
AIPEINFO

IL DOPPIO CAPPOTTO IN EPS

Testo, grafici e tabelle a cura di AIPE

Marco Piana e Elena Crespi



AIPE - Associazione Italiana Polistirene Espanso
Via Giovanni da Procida, 11 - 20149 Milano | +39 02 33 60 65 29 | aipe@epsass.it | www.aipe.biz

IL DOPPIO CAPPOTTO IN EPS

PREMESSA

1. CARATTERISTICHE DELL'EPS
2. ISOLAMENTO DALL'INTERNO
3. ISOLAMENTO DALL'ESTERNO A CAPPOTTO
4. IL DOPPIO CAPPOTTO
5. I PARAMETRI TERMODINAMICI
6. VERIFICA DEI PARAMETRI TERMICI-DINAMICI IN RELAZIONE A STRATIGRAFIE "TIPO"
7. LE RICADUTE AMBIENTALI
8. TEMPERATURE SUPERFICIALI
9. CONCLUSIONI
10. CHI È AIPE

PREMESSA

Opportunità e caratteristiche delle sinergie fra isolamento esterno ed interno.

Le pareti perimetrali degli edifici possono essere isolate mediante l'utilizzo di materiali che esprimono la funzione di isolamento termico utilizzando un parametro conosciuto e utilizzato da tutti i tecnici di settore, ovvero la conducibilità termica λ.

Questi materiali vengono impiegati con tre differenti modalità di installazione rispetto all'elemento portante della parete ovvero posizionati all'interno, in intercapedine, all'esterno.

Per facilità di posa e per efficientare gli edifici esistenti dal punto di vista energetico, due sono i sistemi più utilizzati oggi in caso di ristrutturazioni:

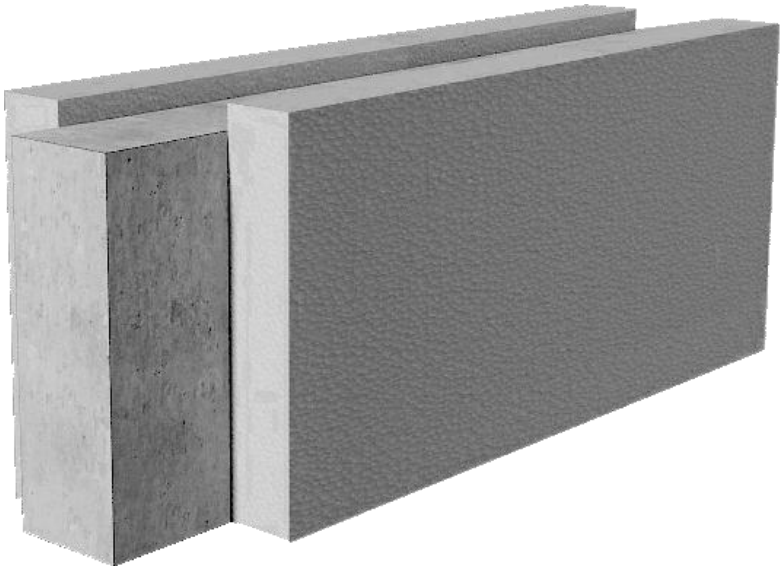
l'isolamento dall'interno e quello dall'esterno.

Questi sistemi vengono usualmente installati singolarmente ed ognuna di queste modalità presenta caratteristiche precise sul grado di miglioramento del risparmio di energia e di microclima degli ambienti interni.

La grande differenza fra isolare dall'interno e dall'esterno è ben conosciuta, in quanto il secondo offre l'opportunità di ridurre i ponti termici delle strutture portanti con i relativi effetti consequenziali sulle condense, sia interstiziali che superficiali.

D'altra parte, l'isolamento dall'interno produce anche un benessere termico più veloce da raggiungere in quanto le temperature superficiali della parete e le temperature dell'aria ambiente seguono direttamente gli incrementi forniti dagli impianti di riscaldamento e/o condizionamento.

Oggi sono disponibili sistemi che permettono di creare la sinergia fra le due modalità sopra esposte e realizzate con il materiale isolante in EPS, Polistirene Espanso Sinterizzato, per ottenere elementi definiti con l'acronimo ICF SAAD ed usualmente utilizzati per realizzare nuovi edifici o per attuare ristrutturazioni importanti.



Questo acronimo, ICF SAAD – Insulation Concrete Form – Sistemi ad Armatura Diffusa, indica un sistema costruttivo utilizzante casseri isolanti a rimanere in EPS che include un getto di calcestruzzo armato che crea la parete portante.

Vi sono altre caratteristiche peculiari del sistema costruttivo che sono affrontate e descritte in documenti specifici disponibili visitando l'area dedicata del sito web di AIPE – www.aipe.biz.

Interessanti sinergie del contemporaneo utilizzo di un cappotto interno ed esterno sono evidenziate dal comportamento termodinamico, dal miglioramento del micro-comfort ambientale interno e dalla esclusione della formazione delle condense ed anche l'impiego di un sistema costruttivo che non dimentica la sicurezza e la resistenza alle azioni del sisma.

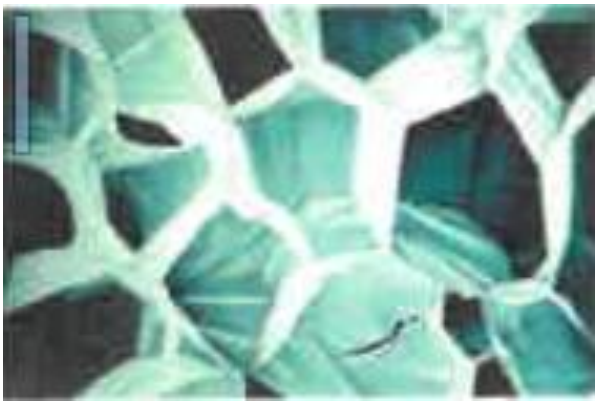
Le analisi termodinamiche riportate e sintetizzate di seguito permettono di rilevare le sinergie dell'isolamento con doppio cappotto e dedicate solamente a due tipologie costruttive oltre all'analisi di isolamento dall'interno e dall'esterno ipotizzate con un analogo spessore isolante e di parete. Si sono sviluppate inoltre casistiche riferite a tipologie tradizionali e senza isolamento termico per rendere semplici e leggibili i risultati ottenuti.

Le analisi condotte possono essere realizzate indirizzandole a tutte le tipologie che il progettista potrà considerare e l'associazione sarà disponibile per ogni eventuale richiesta.

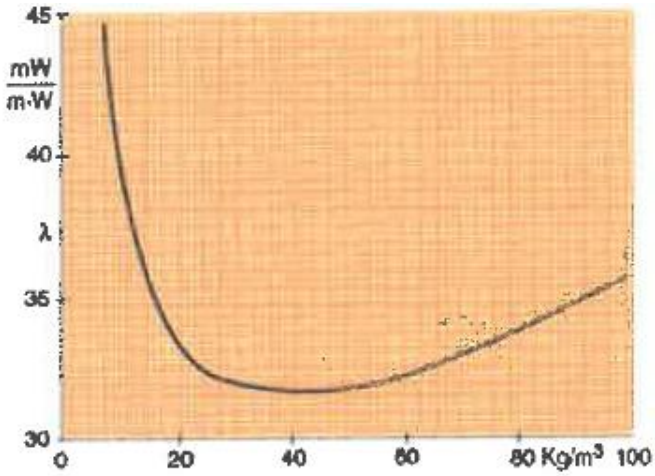
1. CARATTERISTICHE DELL'EPS

Le principali caratteristiche prestazionali del Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS) sono le seguenti:

- Massa volumica apparente **ρ** $10\ Kg/m^3 < \rho < 30\ Kg/m^3$
- Conducibilità termica **λ** $0{,}030\ W/mK < \lambda < 0{,}040\ W/mK$
- Grande capacità di isolamento mantenuta anche dopo prolungata immersione totale in acqua: le celle di cui l'EPS è formato sono CHIUSE e IMPERMEABILI.



- L'EPS è costituito per il 96-99% di aria, chiusa in cellette di dimensioni tali da impedire i moti convettivi, cosicché la trasmissione del calore avviene soltanto per conduzione (che è molto bassa nell'aria) e per irraggiamento (che si riduce al moltiplicarsi degli schermi costituiti dalle pareti delle celle e quindi all'aumento della densità).



- L'aria interna nelle celle è in equilibrio con quella esterna: per tal motivo la conducibilità termica non varia nel tempo.
- Esiste inoltre l'EPS a conducibilità termica migliorata, caratterizzato da un λ medio 0,030 W/mK
- Calore specifico Cs = 1450 (J/Kg K)
- Coefficiente di dilatazione lineare 5.10-5 m/mK -7.10-5 m/mK
- Assorbimento acqua 2 – 4% (v/v)
- Permeabilità al vapore d'acqua δ Da 0,007 a 0,036 [mg/ (Pa h m)]
- Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ Da 20 a 60

2. ISOLAMENTO DALL'INTERNO

Considerazioni generali

Un sistema per isolare termicamente le chiusure verticali d'ambito esterno consiste nell'applicare lo strato coibente direttamente sulla superficie interna della parete perimetrale.

Tale soluzione trova applicazione in interventi di recupero e ristrutturazione del patrimonio edilizio esistente nei quali si renda necessario realizzare o incrementare lo strato di termocoibentazione ai fini di migliorare il comfort ambientale e contenere i disperdimenti energetici senza, per questo, dover modificare l'aspetto esterno dell'edificio.

L'applicazione dello strato isolante internamente alla chiusura esclude l'inerzia termica della parete di supporto e pertanto accelera anche sensibilmente il processo di riscaldamento dell'aria.

Si verificano alcuni vantaggi notevoli nei confronti di altre tecniche di isolamento termico, quali la rapidità e facilità di messa in opera, che si traducono anche in economia di mezzi e risorse, la possibilità di posa anche a secco o comunque con collanti che garantiscono pulizia di lavoro, la disponibilità immediata della parete trattata ad essere interessata da operazioni di finitura interna (pitturazioni o rivestimenti murari), la riduzione dello spessore complessivo della chiusura d'ambito, costituita da muratura portante monostrato, nei confronti della più tradizionale tecnica del doppio paramento murario con intercapedine coibentata.

D'altro canto, occorre osservare come tale sistema comporti alcuni svantaggi se messo a confronto con altre tecnologie di isolamento.

In tal senso, rispetto ad un sistema di isolamento dall'esterno, esso implica la riduzione della superficie abitabile e non attua alcuna protezione della parete dagli stress termici dovuti agli agenti esterni e dalle conseguenti mobilità; dal punto di vista igrotermico, la soluzione con isolamento interno risulta essere la più problematica per la possibilità di condensazione del vapore acqueo ambientale e pertanto richiede un'attenta analisi e l'eventuale adozione di accorgimenti progettuali

e costruttivi specifici; la discontinuità di applicazione dovuta alla presenza di elementi strutturali orizzontali o di partizioni interne ortogonali alla chiusura comporta l'insorgenza di ponti termici di difficile controllo.

DESCRIZIONE DEGLI STRATI

Nel sistema di isolamento in oggetto le stratificazioni funzionali esterne allo strato coibente possono presentarsi con differenti caratteristiche tipologiche e morfologiche, a seconda di specifiche scelte adottate in fase di progettazione complessiva della chiusura d'ambito o delle diverse preesistenze in caso di interventi di ristrutturazione.

STRATO DI RIVESTIMENTO E FINITURA INTERNA

Nel caso di impiego di pannelli in EPS, occorre prevedere l'applicazione di uno strato di protezione e finitura sulla superficie interna al locale, al fine di conferire resistenza meccanica e determinare l'aspetto estetico. Tale stratificazione può essere realizzata mediante:

- lastre di gesso;
- intonaco tradizionale o preconfezionato posato su rete porta intonaco;
- rivestimento ligneo a doghe o pannelli su apposita orditura.

ISOLAMENTO TERMICO

La chiusura verticale d'ambito deve garantire il raggiungimento del comfort ambientale interno dal punto di vista della trasmissione del calore, controllando il flusso termico in entrata e in uscita.

L'ottenimento di valori di resistenza termica globale accettabili è affidato essenzialmente allo strato isolante e l'impiego di EPS, che presenta valori di conducibilità termica molto bassi e stabili nel tempo, risulta particolarmente indicato per il soddisfacimento di questo requisito.

Il coefficiente di trasmissione termica globale in sezione corrente di una chiusura d'ambito isolata dall'interno differisce a seconda della realizzazione del sistema e delle modalità di fissaggio al supporto.

Il sistema di isolamento dell'interno, rispetto ad altre collocazioni del coibente, comporta peraltro maggiori dispersioni termiche causate dalla presenza di ponti termici, in corrispondenza degli orizzontamenti strutturali o dei setti con andamento perpendicolare alla tessitura delle chiusure d'ambito, che risultano per lo più di difficile eliminazione.

3. ISOLAMENTO DALL'ESTERNO A CAPPOTTO

Il "cappotto", più precisamente denominato "Isolamento termico dall'esterno, per pareti verticali, con intonaco sottile su isolante" è il sistema più utilizzato in Europa per la coibentazione degli edifici civili, industriali, di servizio, nuovi o preesistenti.

Il sistema a "cappotto" è un insieme inscindibile costituito da elementi diversi, ma tra loro compatibili e sinergici:

- **lastra isolante**
- **collante-rasante**
- **rete di armatura**
- **eventuale primer**
- **finitura con rivestimento continuo sottile**
- **tasselli di fissaggio**

FUNZIONI E CAMPI D'IMPIEGO DEL SISTEMA A "CAPPOTTO"

Le funzioni tipiche e insostituibili del "cappotto" sono:

- **isolare senza discontinuità** dal freddo e dal caldo;
- **utilizzare il volano termico** costituito dalle pareti isolate;
- **proteggere** le facciate dagli agenti atmosferici;
- **fornire** interessanti e sensibili **risparmi energetici;**
- **porre in condizioni stazionarie termoigrometriche** l'involucro e la struttura degli edifici;
- **rendere ottimali, confortevoli e igieniche le condizioni degli spazi abitativi**.

Dopo l'installazione del sistema a "cappotto" le pareti esterne degli edifici, nuovi o recuperati, vengono poste in condizioni di inerzia: le sollecitazioni provocate dagli sbalzi termici e igrometrici non le possono più raggiungere in modo significativo ma attenuato.

Le stesse murature, non dissipando più il calore all'esterno, svolgono l'importante funzione di volano termico all' interno dell'abitazione.

Ciò corrisponde a disporre di una massa calda o fresca, che attraverso le sue superfici scambia calore con i locali, negli intervalli e interruzioni di riscaldamento. Anche in pieno inverno il sano ricambio d'aria può essere svolto senza poi dover intensificare il riscaldamento: il calore accumulato dalla massa muraria rigenera rapidamente e omogeneamente le condizioni più confortevoli. Gli involucri e le strutture sottostanti il "cappotto", non ricevendo più sollecitazioni termomeccaniche intense e subitanee, si conservano inalterati. Anche in presenza pregressa di crepe non si verificano più le continue dilatazioni (caldo) e contrazioni (freddo), evitando il peggioramento statico degli intonaci e nel caso del calcestruzzo anche parzialmente dinamico.

4. IL DOPPIO CAPPOTTO

L'utilizzo del "doppio cappotto" permette di tenere in considerazione le caratteristiche peculiari dell'isolamento dall'interno e dall'esterno, dosando opportunamente gli spessori dei relativi strati di materiale isolante impiegato.

Per tal motivo lo spessore interno è differente da quello esterno e l'unica modalità per supportare questa scelta costruttiva sono le verifiche analitiche che sono riportate di seguito, utilizzando due programmi di calcolo messi a punto dall'Associazione AIPE, con l'ausilio di professionisti del settore e facendo riferimento alle norme in vigore.

I programmi di calcolo sono stati predisposti per analizzare la struttura in condizioni dinamiche e verificare le condense interne e superficiali.

Sono state analizzate alcune situazioni costruttive che permettono di confrontare il comportamento di una struttura con cappotto interno, cappotto esterno e doppio cappotto, prendendo in esame situazioni che vengono riscontrate nel mercato.

I sistemi ICF SAAD sono sistemi costruttivi innovativi rispetto alle tradizionali metodologie e grazie alla flessibilità e versatilità delle tecnologie offerte, è possibile realizzare molteplici tipologie edilizie, dalle geometrie più semplici alle architetture più complesse.

I vantaggi primari derivanti da questi sistemi e considerati prioritari nello scenario attuale del processo edificatorio sono:

- **creazione di edifici sicuri, affidabili e performanti**
- **tempi ridotti per realizzare le opere**
- **riduzione dei costi**
- **miglioramento della qualità abitativa**

Sempre più numerose sono le costruzioni realizzate nei diversi ambiti, dall'edilizia residenziale (edilizia economica e popolare, edifici mono/bifamiliari, edifici multipiano), all'edilizia commerciale e industriale (edifici turistici – hotel, centri commerciali ed edifici per il terziario e per fabbricati industriali e produttivi), nonché per l'edilizia pubblica (residenze socioassistenziali, Centri sportivi, Tribunali, Scuole e università).

Nel suo complesso il sistema prevede sia elementi verticali, che elementi orizzontali.

I componenti verticali sono utilizzati, oltre che per la realizzazione delle pareti portanti anche per la costruzione di tamponamenti esterni e tramezzi interni.

Gli elementi orizzontali sono utilizzati per creare i primi solai, i solai intermedi ed i solai di copertura. Le aperture di porte e serramenti sono realizzate in modo semplice ed efficace.

I sistemi proposti sono classificabili in due categorie principali:

- **blocchi di piccole dimensioni**
- **pannelli di grandi dimensioni**

L'aspetto dimensionale determina diverse metodologie progettuali e costruttive legate non solo alla maneggevolezza degli elementi ma anche alle diverse modalità di posa dei ferri di armatura: nei blocchi di piccole dimensioni sia i ferri orizzontali che quelli verticali vengono posizionati in cantiere, mentre nei pannelli di grandi dimensioni l'armatura viene pre-posizionata in fabbrica ed eventualmente integrata in cantiere.

La tecnica delle strutture a pareti portanti prende avvio dalla razionalizzazione del concetto di "cassero" che diviene elemento multifunzionale.

Si realizzano in questo modo strutture caratterizzate da isolamento termico, inerzia termica, isolamento acustico, protezione al fuoco e resistenza meccanica e quindi in grado di assicurare confort abitativo, risparmio energetico, economia nei costi di costruzione e nei costi di gestione del cantiere.

La semplicità delle operazioni di montaggio, la leggerezza dei materiali e l'annullamento dei tempi morti delle fasi di maturazione del calcestruzzo contenuto nei casseri portano all'ottimizzazione della manodopera e di conseguenza alla riduzione di costi e tempistiche rispetto alle costruzioni di tipo tradizionale. Assistiamo quindi alla realizzazione di strutture monolitiche, portanti e protettive al tempo stesso, rispetto alla struttura a telaio in cui gli elementi portanti (travi e pilastri) si distinguono, per materiali e fasi esecutive, dalle chiusure e dai tamponamenti.

Le strutture a telaio sono state fino ad ora predilette, soprattutto nel settore residenziale, prevalentemente per la flessibilità offerta, ma il sempre maggiore interesse alle tematiche relative all'efficienza energetica, alle prestazioni meccaniche, all'economia della gestione del cantiere e del manufatto finale fanno crescere interesse per sistemi più efficienti in tutti i settori dell'edilizia, residenziale, industriale e commerciale.

Negli ultimi anni vi sono tematiche importanti che hanno visto sempre più una crescente attenzione da parte del mondo delle costruzioni: l'aspetto strutturale e quello del rapporto tra architettura e ambiente sono tra loro fortemente connessi e senza dubbio sono ambiti determinanti per lo sviluppo di questo innovativo sistema costruttivo che in modo sempre più chiaro si delinea come "nuovo paradigma del costruire".

Uno dei temi più interessanti dell'ingegneria sismica è sviluppare tecnologie in grado di offrire garanzia d' affidabilità strutturale in condizione limite di resistenza alle sollecitazioni improvvise e imprevedibili come quelle sismiche. In questo senso i sistemi ad armatura diffusa permettono di realizzare strutture monolitiche altamente performanti grazie alla sinergia tra la resistenza a compressione del calcestruzzo e quella a trazione dell'acciaio.

L'innovazione apportata dai sistemi per la creazione di casseforme a perdere in EPS consiste nella possibilità di realizzare un setto in cemento armato in cui i ferri di armatura orizzontale e verticale possono essere correttamente posizionati per il soddisfacimento dei requisiti strutturali all'interno di una struttura solidale con le lastre in EPS, che permettono di raggiungere elevata inerzia termica ed acustica senza ricorrere all'aumento di spessore del setto.

Il consumo di energia, inoltre, è divenuto oggetto di studio e di attenzione nella nostra società. Il contenimento dei costi di costruzione prima e di gestione poi, è una tematica legata quanto all'aspetto economico e gestionale quanto a quello ambientale ed è oggi certamente appetibile sotto tutti gli aspetti, sia per committenti che per i progettisti e i costruttori, nel rispetto delle più aggiornate normative termoacustiche e antisismiche.

4.1 ICF SAAD: ORIGINI E STRUTTURA

Il sistema costruttivo ha origine in Europa alla fine degli anni Sessanta per poi trovare diffusione negli Stati Uniti negli anni a seguire. I Sistemi Ad Armatura Diffusa ICF SAAD rappresentano i sistemi costruttivi più evoluti nel processo dell'industrializzazione del comparto edile del mercato mondiale.

I sistemi sono connotati da elementi in EPS che creano un cassero isolante a rimanere in opera in cui viene gettato calcestruzzo con relativa armatura.

La faccia esterna e interna del cassero è realizzata in EPS così da realizzare un doppio isolamento in cui viene a trovarsi l'elemento portante e resistente dell'edificio.

Gli elementi in EPS possono essere di piccole o grandi dimensioni.

I primi della dimensione di un grande blocco sono realizzati utilizzando inserti di materiale plastico o metallico che congiungono la faccia interna con la faccia esterna del blocco. Questi prevedono piccoli elementi superiori e inferiori per realizzare l'incastro fra di loro.

I secondi della dimensione minima di un interpiano o più piani, sono realizzati con doppio elemento in EPS con rete tridimensionale, che li distanzia in modo da garantire una parte centrale libera per il getto in calcestruzzo. Sia di piccole che di grandi dimensioni, le pareti esterne e interne vengono finite con intonaci o rivestimenti adeguati alle esigenze dell'utilizzo finale dell'edificio.

Il sistema costruttivo a pareti portanti comprende anche elementi modulari singoli per la realizzazione di setti portanti con anima in EPS racchiusa all'interno di un traliccio strutturale metallico che viene completato in opera mediante l'applicazione di intonaco strutturale su entrambi i lati.

Il sistema dispone di norme dedicate al componente solaio e pareti, ed è stato anche approfondito l'aspetto ambientale contemplando le ricadute in confronto con i sistemi costruttivi tradizionali.

5. I PARAMETRI TERMODINAMICI

Le caratteristiche termiche delle tipologie di isolamento termico sono confrontabili analizzando le prestazioni del pacchetto costruttivo.

Per una migliore comprensione delle successive tabelle si riportano di seguito le definizioni dei parametri di calcolo espressi.

PARAMETRI DINAMICI

L'inerzia termica di una parete è valutata con due parametri: il fattore di attenuazione e lo sfasamento termico. La norma Uni EN ISO 13786 permette di calcolare, oltre ai parametri sopra riportati, anche i seguenti parametri dinamici:

le ammettenze termiche (Y nn e Y mm), definite come l'ampiezza del flusso termico attraverso la superficie prospiciente un lato del componente rispetto all'ampiezza della variazione di temperatura nello stesso lato, quando la temperatura nell'altro lato è assunta costante;

la trasmittanza termica periodica (Y mn), ovvero il rapporto tra l'ampiezza del flusso termico in entrata attraverso la superficie del componente prospiciente una zona mantenuta a temperatura costante e l'ampiezza della variazione di temperatura nell'altro ambiente;

la capacità termica areica periodica (K m), esplicitata come il rapporto tra la capacità termica (C m) e l'area (A) dell'elemento. La capacità termica viene calcolata dal modulo della conduttanza termica periodica netta diviso la frequenza angolare.

SFASAMENTO e ATTENUAZIONE

Con sfasamento termico si indica la differenza di tempo fra l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie esterna della struttura e l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie interna della stessa. È importante avere uno sfasamento termico di almeno 8 ore nelle zone con climi estivi più impegnativi. Con tali valori di sfasamento il calore entrerà all'interno dell'abitazione nelle ore notturne, durante le quali può essere smaltito con il ricambio d'aria. Il valore dello sfasamento termico, spesso trascurato nella progettazione convenzionale, è certamente importante per determinare il comfort termico estivo e, come tale, ha importanti ripercussioni anche in termini di risparmio energetico.

In estate, il calore accumulato dall'involucro viene rilasciato gradualmente all'interno degli ambienti con un ritardo di tempo che attenua e rimanda il picco di calore e riduce, quindi, la necessità del raffrescamento. Gli effetti positivi dell'inerzia termica sono quantificabili attraverso il parametro dello sfasamento e attraverso quello del fattore di decremento o attenuazione, che rappresenta il rapporto tra la variazione di temperatura esterna ed il flusso che è necessario somministrare all'interno per mantenere costante la temperatura interna. In tal senso esso può essere assunto come "indice delle dispersioni termiche" (o, meglio, dei consumi).

TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

Secondo la norma la trasmittanza termica periodica è definita come rapporto tra il flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica periodica sull'altro lato, nell'ipotesi che la temperatura ambiente sul primo lato sia costante.

Rappresenta la capacità di una struttura opaca di sfasare e attenuare il flusso termico che la attraverso nell'arco delle 24 ore. È un parametro che ben sintetizza il comportamento resistivo e inerziale della stratigrafia ed è stato scelto dal legislatore per il controllo estivo delle stratigrafie colpite da un'irradianza solare maggiore di 290 W/m2. L'unità di misura della trasmittanza periodica è la stessa della trasmittanza stazionaria, ovvero W/m2K.

Il comportamento di una struttura è tanto migliore quanto minore è la sua trasmittanza termica periodica.

- La trasmittanza termica periodica è il parametro più idoneo a caratterizzare la capacità di un componente edilizio di attenuare una sollecitazione termica periodica sulla sua faccia esterna quale è, ad esempio, la variazione dell'irraggiamento solare incidente.
- Il valore della trasmittanza termica periodica dipende sia dalla capacità di accumulo termico, sia dal grado di isolamento termico della parete: pertanto un limite di trasmittanza periodica lascia al progettista la scelta tra agire sull'isolamento o sulla massa.
- A parità di massa superficiale e di trasmittanza termica, la trasmittanza termica periodica varia anche in funzione della tipologia costruttiva (stratigrafia, posizione dell'isolante).
- Nelle zone più fredde, il maggiore grado d'isolamento termico richiesto, produce anche una riduzione della trasmittanza termica periodica tale da rendere superflua una massa elevata.
- Secondo la normativa vigente, per pareti verticali, non orientate a Nord, Nord/Ovest, Nord/Est, il progettista può scegliere se adottare strutture dotate di massa superficiale superiore ai 230 kg/m2 o strutture caratterizzate da un valore di trasmittanza termica periodica < 0.10 W/m2K.

AMMETTENZA INTERNA (Yii) ED ESTERNA (Yee)

L'ammettenza interna ed esterna è data dal rapporto tra il flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica periodica sullo stesso lato nell'ipotesi che la temperatura ambiente sull'altro lato sia costante.

In generale si hanno due ammettenze diverse sui due lati di un componente, e quindi si parla di ammettenza interna (Yii) e ammettenza esterna (Yee). Tra tutti i parametri dinamica è forse quello meno utilizzato. Il valore dell'ammettenza è espresso in W/m2K.

CAPACITA' TERMICA AREICA

La capacità termica areica interna periodica è indicata come Cip ed espressa in [kJ/m^{2}K].

La norma UNI EN ISO 13786 descrive i metodi di calcolo per il comportamento termico in regime dinamico dei componenti edilizi. Attraverso questi metodi è possibile simulare l'effetto di una sollecitazione climatica estiva su una struttura opaca e verificarne il comportamento. Si tratta di metodi basati sull'analisi di matrici di trasferimento composte da numeri complessi.

La capacità termica areica interna periodica è il rapporto tra la variazione di energia accumulata per unità di superficie in un componente nel periodo di tempo e la sollecitazione termica periodica su un lato, nell'ipotesi che la temperatura ambiente sull'altro lato del componente sia costante.

Il parametro di "capacità termica interna" Cip non è la "capacità termica" della struttura valutata come sommatoria delle capacità termiche di ogni singolo strato. La capacità termica descrive infatti quanta energia è necessaria per innalzare di un grado l'intera struttura.

La capacità termica interna periodica è invece un parametro funzionale alla descrizione di come i primi strati di materiale, che compongono una struttura, reagiscono a sollecitazioni energetiche sulla superficie (interna) presa in considerazione.

Tale parametro caratterizza la capacità di una struttura di accumulare calore.

6. VERIFICA DEI PARAMETRI TERMICI-DINAMICI IN RELAZIONE A STRATIGRAFIE "TIPO"

AIPE ha realizzato un programma di calcolo basato sulla norma UNI EN ISO 13786 e UNI EN ISO 13788 per determinare i parametri termodinamici dei componenti per l'edilizia.

La verifica può essere effettuata sia per elementi verticali che orizzontali con una semplice gestione dei dati di input (spessore, densità, capacità termica, conducibilità) e permette di ottenere tutti i valori necessari ad una comprensione del funzionamento termico dell'elemento di tamponamento analizzato: trasmittanza termica U (W/m2K); trasmittanza termica periodica Yie (W/m2K) e massa superficiale M (Kg/m2), oltre ad altri parametri che interessano il progettista termotecnico. Inoltre il programma di calcolo relativo alle caratteristiche termiche delle strutture è corredato da una parte ausiliaria che permette di verificare la presenza delle condense superficiali ed interstiziali.

Il software, offerto gratuitamente agli operatori, non è validato da ente terzo e quindi i dati ottenuti sono da considerare come orientativi e finalizzati ad una verifica preliminare.

I parametri in output sono quelli necessari per rispondere alle richieste del decreto "requisiti minimi" ed oggi anche ai CAM edilizia.

PROGRAMMA DI CALCOLO AIPE
CALCOLO DEI PARAMETRI TERMICI DINAMICI DEI COMPONENTI EDILIZI Metodo basato su **UNI EN ISO 13786** e **UNI EN ISO 13788**
DATI IN INGRESSO - Tipo di componente (chiusura verticale, chiusura orizzontale inferiore …) - Spessore s - Massa volumica ρ - Calore specifico Cp - Conducibilità termica λ o Resistenza termica R } per ogni strato del componente
RISULTATI • TRAMITTANZA TERMICA PERIODICA • FATTORE DI ATTENUAZIONE • SFASAMENTO

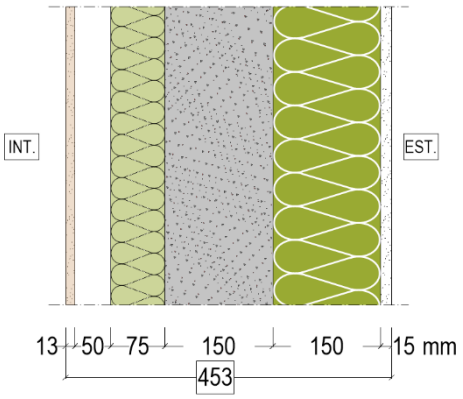
Le stratigrafie 01, 02, 03, 04 e 05 sono esempi in cui si contempla l'impiego di un calcestruzzo alleggerito; le successive stratigrafie 06,07, 08, 09, 10 sono state verificate con calcestruzzo di normale impiego per i getti armati, l'esempio n. 11 è rivolto alla valutazione di parete in laterizio.
Le stratigrafie in cui è stato inserito il calcestruzzo alleggerito sono state verificate per evidenziare la differenza comportamentale dell'elemento massivo nelle due situazioni leggera e pesante, permettendo così di confrontarne il comportamento dinamico delle strutture.
Lo strato relativo al calcestruzzo "alleggerito" potrebbe essere di riferimento per possibili utilizzi in caso si desideri rendere la struttura più leggera per ragioni di sicurezza o in relazione alla tipologia del terreno del sito.

Stratigrafia

01

PARETE SAAD
"DOPPIO CAPPOTTO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

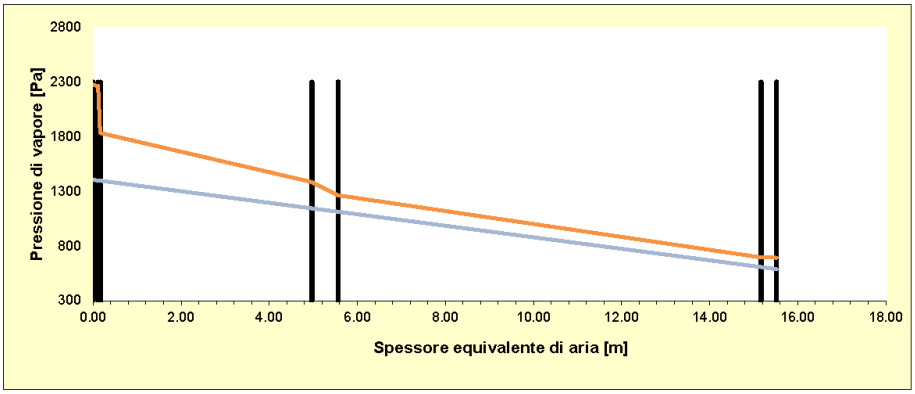
	Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	aria in quiete	5.0	1	1	1000	0.026	
III	polistirene espanso	7.5	30	64	1450	0.030	
IV	calcestruzzo autoc.	15.0	600	4	840	0.190	
V	polistirene espanso	15.0	30	64	1450	0.030	
VI	intonaco	1.5	2000	24	840	1.400	
VII			0				
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	0.801 W/(m²K)	4.53 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	1.981 W/(m²K)	5.24 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.006 W/(m²K)	-11.53 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	11.1 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	27.3 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	10.455 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.096 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.059	

Spessore (s)	45.3 cm	
Massa superficiale (m)	139 kg/m²	
Sfasamento (φ)	11.53 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio

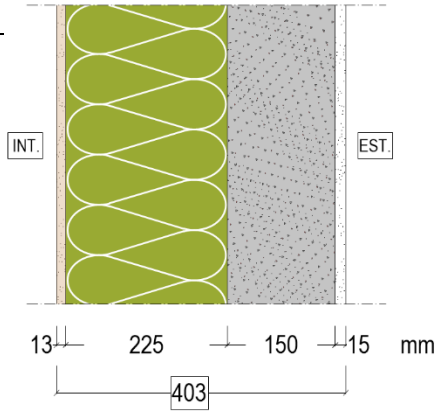


NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

02

"CAPPOTTO INTERNO"



Zona E
Milano

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

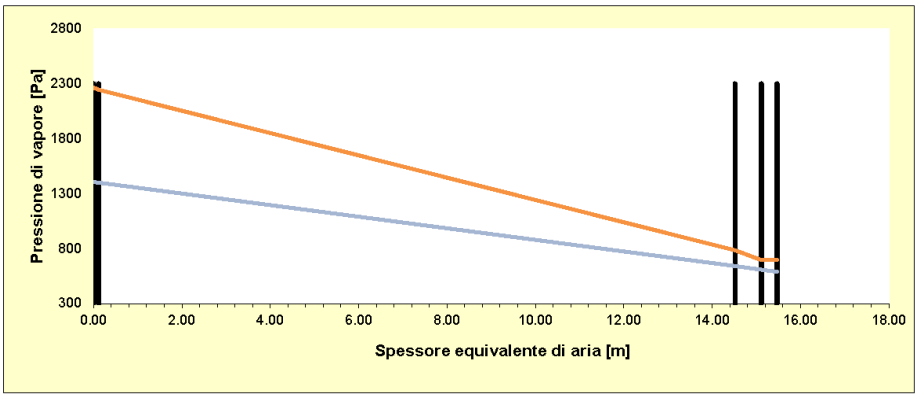
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	polistirene espanso	22.5	30	64	1450	0.030	
III	calcestruzzo autoc.	15.0	600	4	840	0.190	
IV	intonaco	1.5	2000	24	840	1.400	
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	0.949 W/(m²K)	4.66 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	3.924 W/(m²K)	3.57 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.043 W/(m²K)	-10.07 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	13.5 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	54.5 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	8.532 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.117 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.364	

Spessore (s)	40.3 cm	
Massa superficiale (m)	138 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10.07 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



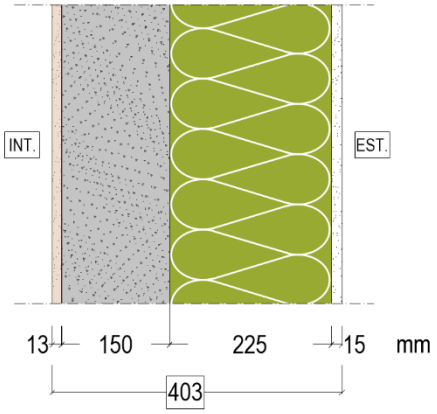
NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

03

"CAPPOTTO ESTERNO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

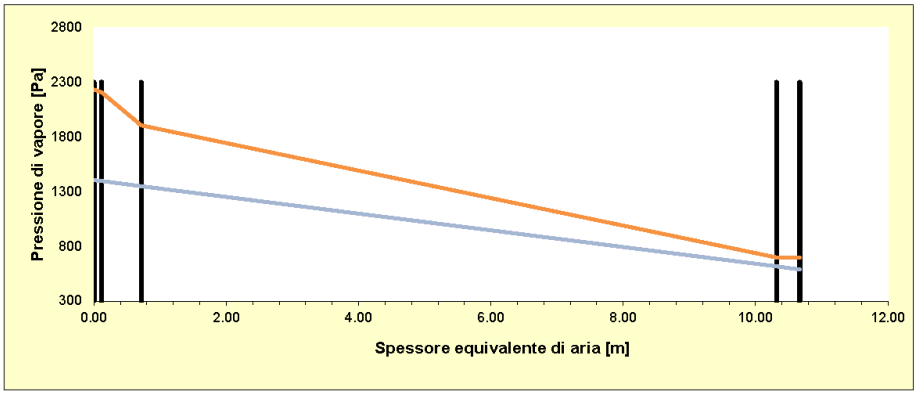
	Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	calcestruzzo autoc.	15.0	600	4	840	0.190	
III	polistirene espanso	22.5	30	64	1450	0.030	
IV	intonaco	1.5	2000	24	840	1.400	
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	2.355 W/(m²K)	2.34 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	2.022 W/(m²K)	5.28 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.034 W/(m²K)	-10.57 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	32.8 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	28.0 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	8.532 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.117 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.286	

Spessore (s)	40.3 cm	
Massa superficiale (m)	138 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10.57 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



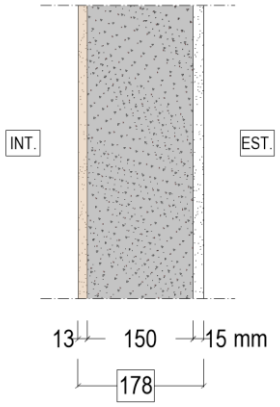
NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

04

"NESSUN ISOLAMENTO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

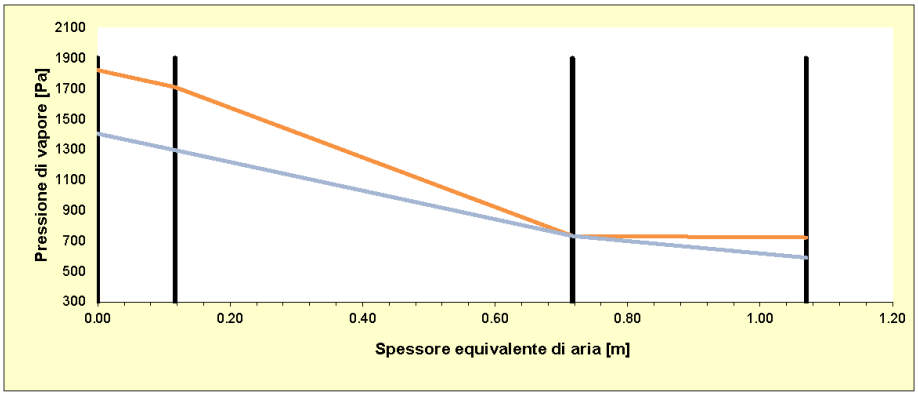
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	calcestruzzo autoc.	15.0	600	4	840	0.190	
III	intonaco	1.5	2000	24	840	1.400	
IV							
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	2.158 W/(m²K)	2.49 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	3.685 W/(m²K)	3.72 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	**0.748 W/(m²K)**	-4.52 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	**33.9 kJ/(m²K)**	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	57.0 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	1.032 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	**0.969 W/(m²K)**	
Fattore di attenuazione (f)	**0.772**	

Spessore (s)	**17.8 cm**	
Massa superficiale (m)	**132 kg/m²**	
Sfasamento (φ)	**4.52 h**	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



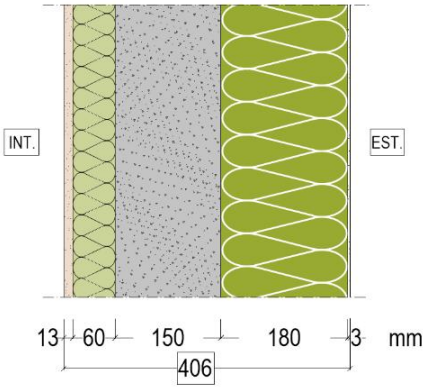
NO COND. SUP.
SI COND. INT.

Stratigrafia

05

"PARETE SAAD DOPPIO CAPPOTTO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

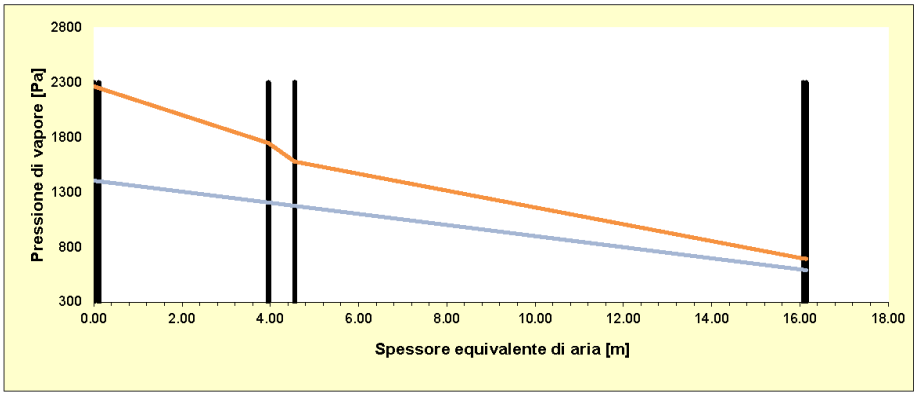
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	polistirene espanso	6.0	30	64	1450	0.030	
III	calcestruzzo autoc.	15.0	600	4	840	0.190	
IV	polistirene espanso	18.0	30	64	1450	0.030	
V	intonaco	0.3	2000	24	840	1.400	
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	0.912 W/(m²K)	3.73 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	0.584 W/(m²K)	4.53 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.009 W/(m²K)	-11.23 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	12.6 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	8.1 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	9.024 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.111 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.085	

Spessore (s)	40.6 cm	
Massa superficiale (m)	115 kg/m²	
Sfasamento (φ)	11.23 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



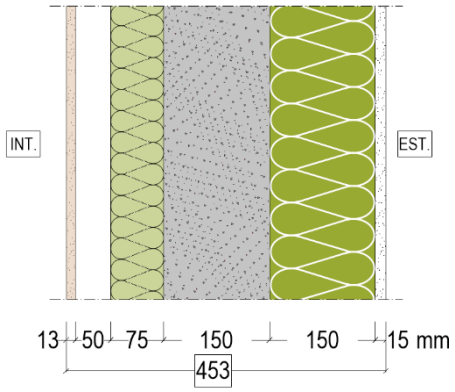
NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

06

PARETE SAAD
"DOPPIO CAPPOTTO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

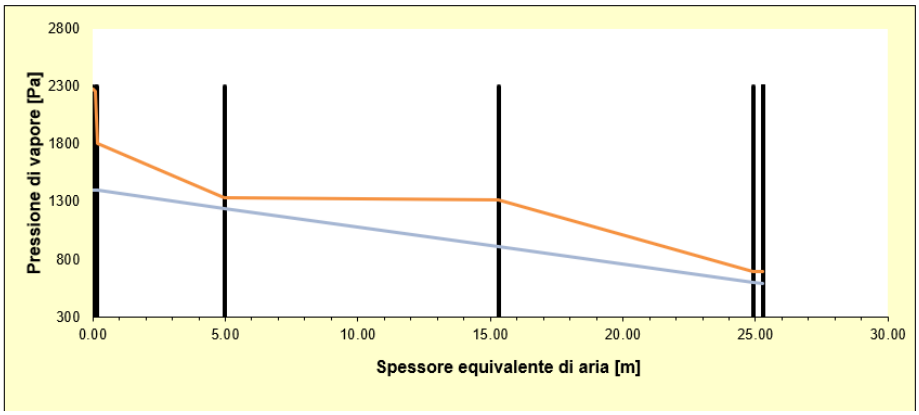
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	Cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	Aria in quiete	5.0	1	1	1000	0.026	
III	Polistirene espanso	7.5	30	64	1450	0.030	
IV	Calcestruzzo (ca)	15.0	2400	69	880	1.910	
V	Polistirene espanso	15.0	30	64	1450	0.030	
VI	Intonaco cem.	1.5	2000	24	840	1.400	
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	0.791 W/(m²K)	4.49 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	1.971 W/(m²K)	5.24 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.002 W/(m²K)	-10.11 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	10.9 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	27.1 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	9.744 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.103 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.017	

Spessore (s)	45.3 cm	
Massa superficiale (m)	409 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10.11 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio

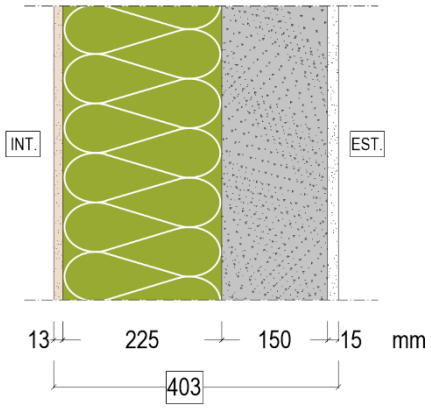


NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

07

"CAPPOTTO INTERNO"



Zona E
Milano

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

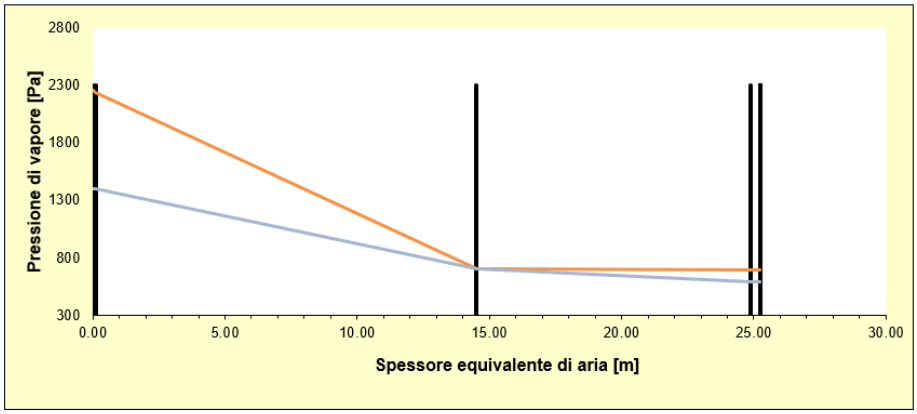
	Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	Cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	Polistirene espanso	22.5	30	64	1450	0.030	
III	Calcestruzzo (ca)	15.0	2400	69	880	1.910	
IV	Intonaco cem.	1.5	2000	24	840	1.400	
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	0.946 W/(m²K)	4.67 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	11.832 W/(m²K)	2.10 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.051 W/(m²K)	-9.05 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	13.6 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	163.4 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	7.821 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.128 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.395	

Spessore (s)	40.3 cm	
Massa superficiale (m)	408 kg/m²	
Sfasamento (φ)	9.05 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



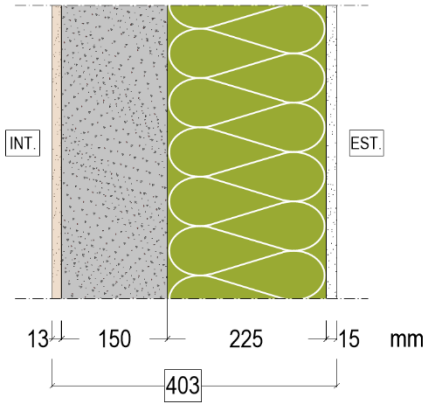
NO COND. SUP.
SI COND. INT.

Stratigrafia

08

"CAPPOTTO ESTERNO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

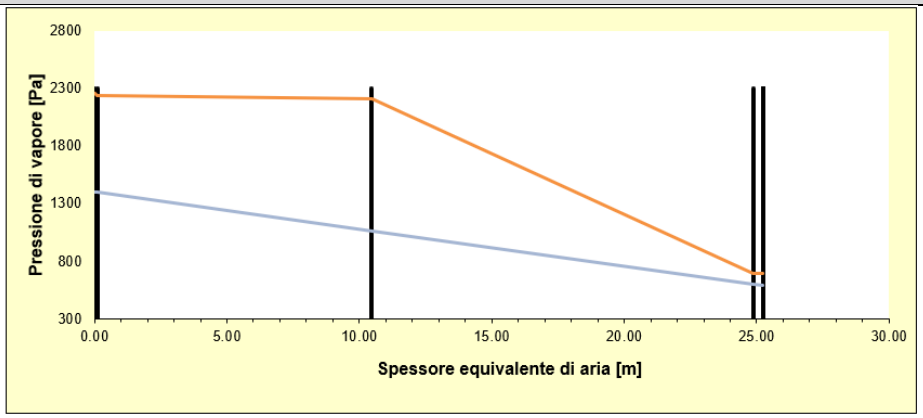
	Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	Cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	Calcestruzzo (ca)	15.0	2400	69	880	1.910	
III	Polistirene espanso	22.5	30	64	1450	0.030	
IV	Intonaco cem.	1.5	2000	24	840	1.400	
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	4.561 W/(m²K)	0.83 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	2.019 W/(m²K)	5.29 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.021 W/(m²K)	-10.04 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	63.0 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	28.0 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	7.821 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.128 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.165	

Spessore (s)	40.3 cm	
Massa superficiale (m)	408 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10.04 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



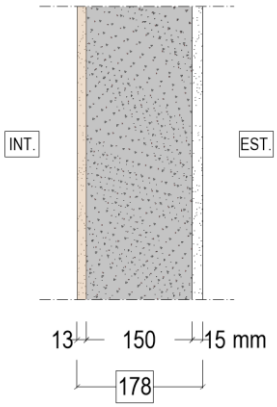
NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

09

"NESSUN ISOLAMENTO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

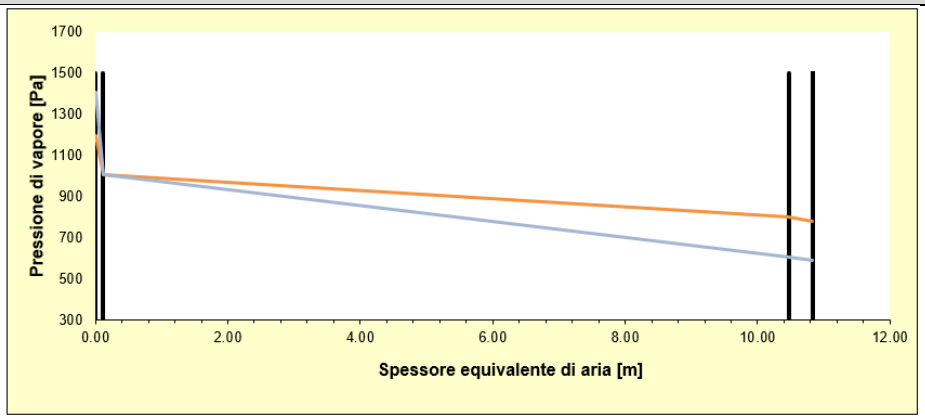
	Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	Cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	Calcestruzzo (ca)	15.0	2400	69	880	1.910	
III	Intonaco cem.	1.5	2000	24	840	1.400	
IV							
V							
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	4.214 W/(m²K)	0.80 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	11.000 W/(m²K)	2.07 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	1.895 W/(m²K)	-4.65 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	60.0 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	158.2 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	0.321 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	3.114 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.608	

Spessore (s)	17.8 cm	
Massa superficiale (m)	402 kg/m²	
Sfasamento (φ)	4.65 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



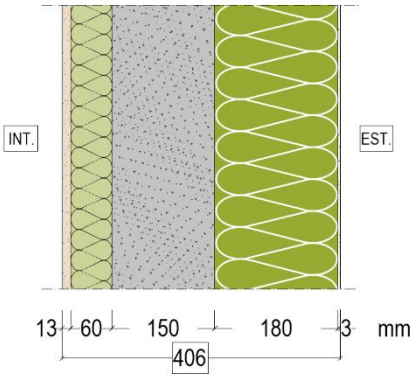
SI COND. SUP.
SI COND. INT.

Stratigrafia

10

"PARETE SAAD DOPPIO CAPPOTTO"

Zona E
Milano



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

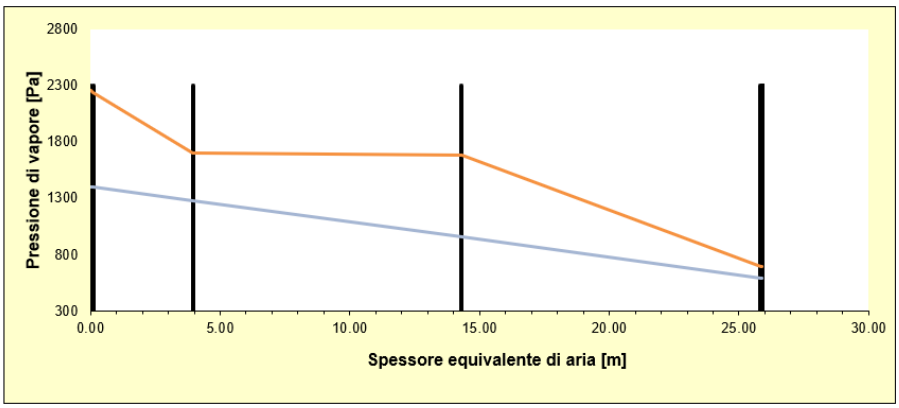
	Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	Cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	Polistirene espanso	6.0	30	64	1450	0.030	
III	Calcestruzzo (ca)	15.0	2400	69	880	1.910	
IV	Polistirene espanso	18.0	30	64	1450	0.030	
V	Intonaco cem.	0.3	2000	24	840	1.400	
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	0.891 W/(m²K)	3.53 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	0.577 W/(m²K)	4.53 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.003 W/(m²K)	-9.98 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	12.3 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	8.0 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	8.313 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.120 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.024	

Spessore (s)	40.6 cm	
Massa superficiale (m)	385 kg/m²	
Sfasamento (φ)	9.98 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio

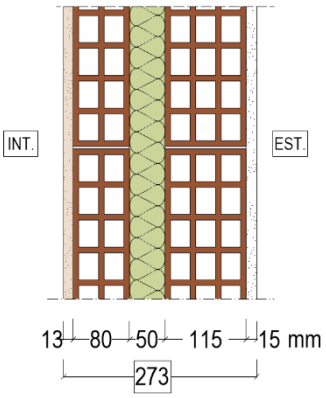


NO COND. SUP.
NO COND. INT.

Stratigrafia

11

"ISOLAMENTO INTERCAPEDINE"



Zona E
Milano

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
c = calore specifico
λ = conducibilità termica
R = resistenza termica

Tipo di componente	Chiusura verticale

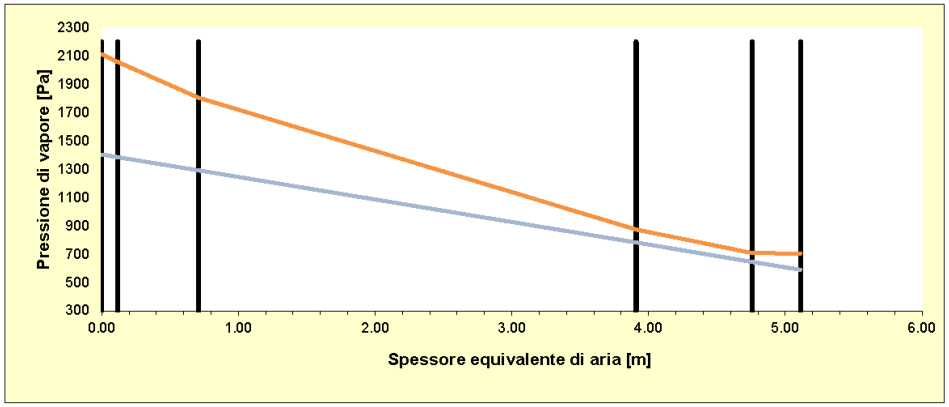
Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]
Strato liminare interno							0.13
I	cartongesso	1.3	900	9	900	0.210	
II	laterzio	8.0	600	7	840	0.250	
III	polistirene espanso	5.0	30	64	1450	0.030	
IV	laterzio	11.5	600	7	840	0.250	
V	intonaco	1.5	2000	24	840	1.400	
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno							0.04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	2.501 W/(m²K)	3.05 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	4.334 W/(m²K)	3.86 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0.213 W/(m²K)	-7.28 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	37.1 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	62.4 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	2.689 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0.372 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0.572	

Spessore (s)	27.3 cm	
Massa superficiale (m)	160 kg/m²	
Sfasamento (φ)	7.28 h	

VERIFICA TERMODINAMICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Mese
Gennaio



NO COND. SUP.
NO COND. INT.

TABELLA RIEPILOGATIVA

La tabella seguente riporta i risultati della verifica analitica degli esempi esposti in precedenza da cui si evincono le differenze fra l'elemento massivo proposto con due tipologie e fra la posizione dell'elemento isolante proposto con tre tipologie differenti.

stratigrafia	Spessore (cm)	Massa superficiale (Kg/m^2)	U (W/m^{2}K)	Yie (W/m^{2}K)	Sfasamento (h)	Attenuazione (f)	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
N. 01 Parete SAAD doppio cappotto	45.3	139	0.096	0.006	11.53	0.059	no	no
N. 02 cappotto interno	40.3	138	0.117	0.043	10.07	0.364	no	no
N. 03 cappotto esterno	40.3	138	0.117	0.034	10.57	0.286	no	no
N. 04 nessun isolamento	17.8	132	0.969	0.748	4.52	0.772	no	si
N.05 Parete SAAD doppio cappotto	40.6	115	0.111	0.009	11.23	0.085	no	no
N.06 Parete SAAD doppio cappotto	45.3	409	0.103	0.002	10.11	0.017	no	no
N. 07 cappotto interno	40.3	408	0.128	0.051	9.05	0.395	no	si
N. 08 cappotto esterno	40.3	408	0.128	0.021	10.04	0.165	no	no
N. 09 nessun isolamento	17.8	402	3.114	1.895	4.65	0.608	si	si
N. 10 Parete SAAD doppio cappotto	40.6	385	0.12	0.003	9.98	0.024	no	No
N. 11 isolamento intercapedine	27.3	160	0.372	0.213	7.28	0.572	no	no

7. LE RICADUTE AMBIENTALI

Punto di pareggio nell'isolamento con EPS

Ogni materiale isolante, per essere prodotto, richiede energia. Ovviamente, più isolante viene impiegato, più energia viene spesa per isolare. Oggi è possibile calcolare il valore di pareggio tra costi energetici inglobati nei materiali da costruzione e i risparmi che si possono ottenere abbattendo i consumi, ovvero determinare in quanti anni può essere "ammortizzato" il consumo energetico incorporato nel materiale.

Consumo prima dell'intervento di isolamento: 100 kWh/m^{2}anno

Consumo finale: 50 kWh/m^{2}anno

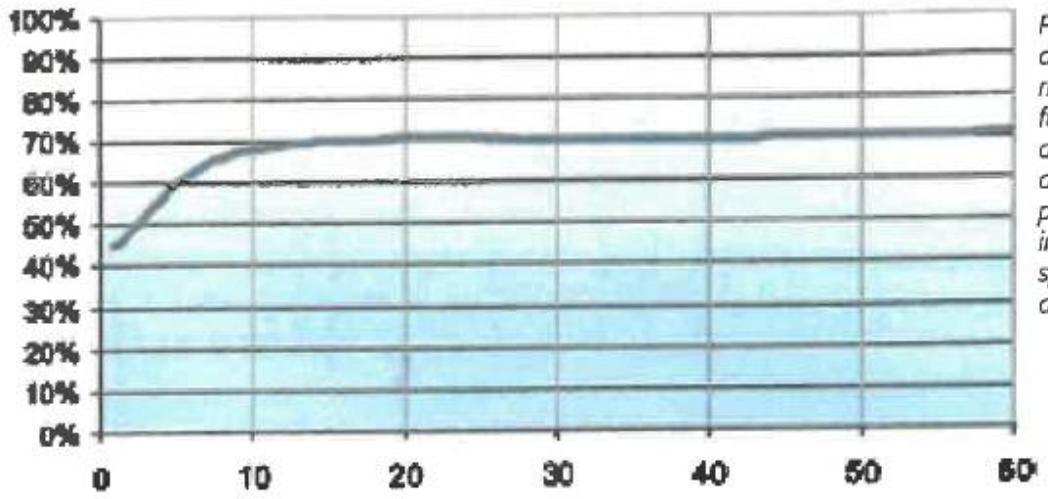
Edificio nuovo: 100 m^2, isolato con EPS, 10 cm spessore = 30 m^3 di isolante

Energia risparmiata 100 – 50 = 50 kWh/m^{2}a x 100m^2= 5.000 Kwh/anno

Energia spesa per realizzare 30 m^3 di EPS: 200 kWh/m^3 x 30 m^3 = 6.000 kWh/anno

Da questo semplice calcolo quindi si può affermare che un buon intervento di isolamento termico ritorna in circa un anno come bilancio energetico.

Differente invece è il bilancio economico che varia in funzione dei costi inziali da sostenere, dagli oneri di gestione, dalle spese energetiche e dalle agevolazioni fiscali.



Percentuale di energia risparmiata in funzione degli anni di vita dell'edificio per un isolante in EPS con spessore di 5 cm

Considerando una parete tipo è possibile valutare i benefici dell'utilizzo di diversi spessori di materiale isolante in una costruzione.

Mantenendo costanti tutti i parametri e modificando via via solo lo spessore dell'isolante si può quantificare la riduzione di fabbisogno energetico a parità di condizioni climatiche interne.

Sulla base di queste ipotesi e facendo riferimento alle leggi della fisica tecnica si può costruire la curva del GWP evitato (Global Warming Potential), che evidenzia la percentuale di CO^2 non immessa in atmosfera, al variare dello spessore dell'isolante e per le differenti tipologie di lastre impiegate.

Il grafico evidenzia la situazione nell'arco di 10 anni: la situazione riferita ad un solo anno non pare infatti ragionevole, in quanto non terrebbe conto della lunga vita utile dell'isolante. Questo perché l'impatto ambientale della produzione del materiale viene generato il primo anno, ma il beneficio si estrinseca in tutti gli anni successivi.

Analogamente, è possibile contabilizzare l'energia risparmiata negli anni grazie all'utilizzo di un isolante in EPS con uno spessore di 5 cm. La stratigrafia della parete adottata è uguale a quella riportata nella tabella vista in precedenza.

8. TEMPERATURE SUPERFICIALI

I due sistemi analizzati, cappotto interno ed esterno, producono come esposto in precedenza, un effetto benefico sui componenti e sull'ambiente interno.

Le temperature superficiali delle pareti sono elemento per considerare gli effetti prodotti.

L'ambiente interno è influenzato dalla temperatura della faccia interna della parete ed il calcolo di questo parametro in modo semplice può essere verificato con la seguente procedura.

Calcolo T superficiale

$$\frac{Q_p}{A} = \frac{t_i - t_e}{R_T}$$

In cui R_T è pari a:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum_{j=1}^{N} R_i + R_{si} = \frac{1}{h_{a,i}} + \sum_{j=1}^{N} \frac{s_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_{a,e}}$$

La conducibilità termica λ rappresenta la quantità di calore che attraversa nell'unità di tempo una parete piana di spessore unitario, per effetto di una differenza unitaria di temperatura.

Il flusso adduttivo unitario sulla parete interna è invece pari a:

$$\frac{Q_{a,i}}{A} = h_{a,i}(t_i - t_{si})$$

In cui t_{si} è la temperatura superficiale interna della parete.

Eguagliando le due espressioni si ha:

$$U(t_i - t_e) = h_{a,i}(t_i - t_{si})$$

da cui si ricava:

$$t_{si} = t_i - \frac{U}{h_{a,i}}(t_i - t_e)$$

t_{si} = temperatura superficiale interna
t_i = temperatura aria interna
te = temperatura aria esterna
U = trasmittanza parete
h = coefficiente adduttivo superficiale interno

La parete esterna invece dotata di cappotto risente della diminuzione sulla propria superficie esterna.

Un esempio è riportato nella seguente analisi:

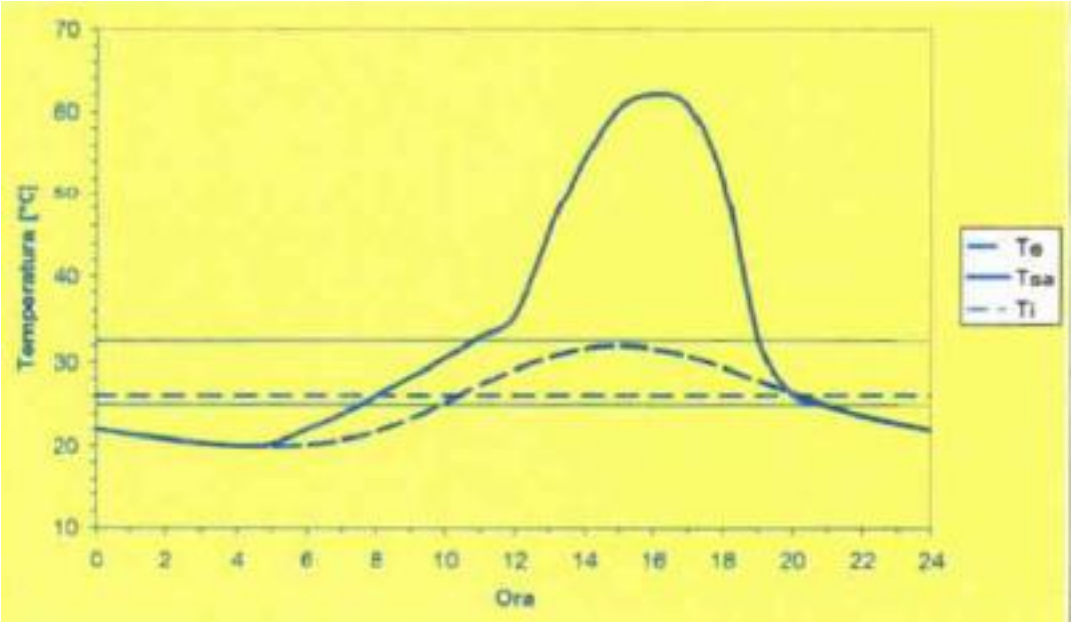
LOCALITA': Milano

Parete verticale esposta a Ovest

Giorno estivo di progetto (15 luglio)

h_e= 15 W/m^{2}K α_{sol} = 0,6

Ora	Temperatura °C	Irradianza solare (W/m^2)	Temp. Est. Equiv. (°C)
3	20,4	0	20,4
6	20,1	49	22,1
9	23,4	120	28,2
12	29,1	156	35,4
15	31,9	714	60,5
18	29,4	558	51,7
21	24,9	0	24,9
24	22,1	0	22,1



9. CONCLUSIONI

L'analisi puntuale utilizzando le verifiche termodinamiche e la formazione di condense è stata effettuata per 8 differenti stratigrafie che rappresentano le tipologie costruttive adottate in occasioni tradizionali innovative o per necessità.

È certamente evidente dai dati riportati in tabella che l'EPS utilizzato come materiale isolante e come cassero isolante a rimanere apporta notevoli benefici creando elementi con bassa trasmittanza termica (U) ma anche l'assenza di condense sia interstiziali che superficiali.

È altresì indiscutibile la considerazione che non è sufficiente un confronto con solo il parametro U ma si deve tenere in conto anche gli aspetti delle Yie, sfasamento e attenuazione.

Ulteriore fattore da considerare in fase progettuale è relativo alla scelta della stratigrafia che coinvolge la gestione della realizzazione dell'edificio, ovvero tempi e costi dei materiali impiegati.

Alcune considerazioni sull'utilizzo del doppio cappotto possono essere espresse:

- **Valori bassi di U indicano il contenimento dei consumi energetici;**
- **Le verifiche delle temperature superficiali interne indicano il grado di benessere termico degli utenti;**
- **I valori di sfasamento e di attenuazione sono da utilizzare soprattutto nel periodo estivo, in quanto permettono di avere un ritardo e un'attenuazione dell'onda di calore che la superficie esterna riceve per irraggiamento solare;**
- **Il valore della Yie indica come la parete si comporti nel periodo estivo, ovvero più è basso il valore migliore è il relativo comportamento;**
- **Lo sfasamento in modo particolare è importante da considerare nel periodo estivo in quanto permette di prevedere che l'onda di calore che penetra all'interno dell'edificio sia sfasata rispetto a quando incide sulla facciata esterna. Valori che si assestano a 9 – 10 ore sono indicativi di buon comportamento.**

I benefici del doppio cappotto sono quindi da ricercare con una completa visione del comportamento sia invernale sia estivo ma anche con il benessere degli occupanti dei locali.

10. CHI È AIPE

AIPE - Associazione Italiana Polistirene Espanso senza fini di lucro è stata costituita nel 1984 per promuovere e tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato (o EPS) di qualità e per svilupparne l'impiego.

Le aziende associate appartengono sia al settore della produzione delle lastre per isolamento termico che a quello della produzione di manufatti destinati all'edilizia ed all'imballaggio. Fanno parte di AIPE le aziende produttrici della materia prima, il polistirene espandibile, fra le quali figurano le più importanti industrie chimiche europee. Un gruppo di Soci è costituito dalle aziende fabbricanti attrezzature per la lavorazione del polistirene espanso sinterizzato e per la produzione di sistemi per l'edilizia.

A livello internazionale l'Associazione rappresenta l'Italia in seno a EUMEPS, l'organizzazione europea che raggruppa le associazioni nazionali dei produttori di EPS.

L'Associazione, inoltre, opera a stretto contatto con Enti e Istituzioni finalizzando la propria attività alla redazione di norme e protocolli nei settori edilizia, imballaggio ed economia circolare.

Collabora attivamente alla promozione della raccolta e riciclo dell'EPS in sinergia con COREPLA e con CORTEXA in qualità di partner tecnico per veicolare, diffondere e condividere la cultura dell'isolamento a cappotto di qualità. Sostiene e promuove la ricerca di nuovi progetti di riciclo a livello nazionale ed europeo e partecipa ad ICESP, la piattaforma italiana dei principali attori dell'economia circolare ed è coinvolta in circuiti virtuosi di alcune tipologie di manufatti, tra cui le cassette per il pesce e gli imballaggi in EPS.